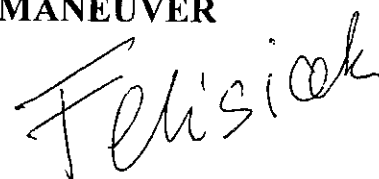


STEROWANIE STATKIEM KOSMICZNYM DLA ZAGADNIENIA MANEWRU SPOTKANIA NA ORBICIE ELIPTYCZNEJ

CONTROL OF SPACECRAFT FOR RENDEZVOUS MANEUVER IN AN ELLIPTICAL ORBIT

Piotr Andrzej Felisiak



Promotor: **prof. dr hab. inż. Krzysztof Sibilski**
Promotor pomocniczy: **dr inż. Wiesław Wróblewski**

Streszczenie pracy

Technologia manewrów spotkania jest jedną z kluczowych w technice kosmicznej. Orbitalny manewr spotkania polega na obraniu przez statek kosmiczny oraz obiekt docelowy (np. stację kosmiczną) takich samych wektorów prędkości i położenia względem Ziemi, obu w tym samym momencie. Obecne kierunki rozwoju technologii automatycznego sterowania dla problemu manewru spotkania skupione są na zwiększeniu autonomii statków wykonujących manewr, zapewnieniu bezpieczeństwa podczas manewru jak również umożliwieniu wykonywania przez statek manewrów improwizowanych.

Zdecydowana większość manewrów spotkania została do tej pory wykonana na kołowej orbicie obiektu docelowego. Przyszłe misje będą wymagać wykonania manewrów zakończonych połączeniem statków na orbicie eliptycznej. Z tego względu celem jest stworzenie dla takiego wariantu odpowiednich modeli dynamiki ruchu względnego oraz metod sterowania automatycznego.

Podjęte badania dotyczą zagadnienia sterowania statkiem kosmicznym w celu wykonania manewru spotkania, przy założeniu, że satelita docelowy przemieszcza się po keplerowskiej orbicie eliptycznej. W celu znalezienia quasi-optymalnej trajektorii manewru zaproponowano metodę opartą o sterowanie predykcyjne, zwane również sterowaniem z przesuwym horyzontem predykcji. Sterowaniu podlega ruch względny, czyli względne położenie oraz prędkość wyrażone w kartezjańskim układzie współrzędnych. Jednym z założeń podjętych na etapie projektowania algorytmu sterowania było rozszerzenie przestrzeni warunków początkowych, dla których możliwe jest osiągnięcie celu sterowania.

W algorytmie sterowania kluczową rolę odgrywa model matematyczny dynamiki ruchu względnego. Większość metod sterowania opracowanych do tej pory wykorzystuje zlinearyzowane modele ruchu względnego, takie jak równania Hill'a-Clohessy-Wiltshire'a dla przypadku kołowej orbity obiektu docelowego czy też równania Tschaunera-Hempla dla przypadku eliptycznego. Dokładność tego typu modeli jest szybko tracona wraz ze zwiększaniem początkowej separacji pomiędzy statkiem a obiektem docelowym, co zawęża zbiór warunków początkowych, dla których manewr jest wykonalny.

Opisana właściwość modeli zlinearyzowanych była jednym z powodów, dla których w opracowanej metodzie sterowania zdecydowano się na wykorzystanie pełnego, nieliniowego oraz niestacjonarnego (nieautonomicznego) modelu ruchu względnego. Posłużył on jako model wewnętrzny dla regulatora predykcyjnego, pozwalając na predykcję wyjścia oraz estymację stanu procesu. Model w bezpośredni sposób uwzględnia zależność dynamiki procesu od masy gazu pędnego wyrzuczonego przez silniki statku.

Kolejnym z założeń dotyczących projektu regulatora była możliwość wykorzystania programowania kwadratowego do rozwiązywania zagadnienia sterowania optymalnego. Założenie to podyktowane jest właściwościami procedur optymalizacji nieliniowej, które nie pozwalają przewidzieć czasu potrzebnego na znalezienie dokładnego rozwiązania, bądź też znajdują jedynie rozwiązanie lokalne. Sprowadzenie procedury optymalizacji do programowania kwadratowego rozwiązano za pomocą metody zaproponowanej przez autora, polegającej na generacji lokalnych modeli liniowych wzdłuż horyzontu predykcji. Metoda uwzględnia zmienność parametrów modelu

wzdłuż horyzontu predykcji, co pozwala na dokładniejszą prognozę wyjścia procesu. Uwzględnienie zmienności dynamiki systemu jest zrealizowane dzięki mechanizmowi predykcji parametrów modelu, zależnych od czasu, trajektorii stanu oraz trajektorii sterowania. Zależność parametrów modelu od trajektorii sterowania wymusiła zastosowanie heurystycznej metody do wstępnej estymacji przyszłej trajektorii sterowania. Uniknięto w ten sposób bezpośredniego uwzględnienia zależności parametrów modelu od trajektorii sterowania w procedurze optymalizacji, co prowadziłoby do zagadnienia optymalizacji nieliniowej.

Przeprowadzone eksperymenty numeryczne wskazują, że zaproponowany algorytm regulacji predykcyjnej pozwala na spełnienie warunków stawianych manewrowi spotkania na orbicie eliptycznej. Mechanizm predykcji wyjścia uwzględniający zmienność parametrów modelu wzdłuż horyzontu predykcji pozwolił na poprawę jakości sterowania. W zdecydowany sposób uzyskano poprawę w zakresie dopuszczalnego zbioru warunków początkowych. Przedstawiony przez autora algorytm pozwala na sterowanie dla manewru z początkową separacją pomiędzy statkami ponad 36 000 km, co znacznie przekracza zakres poprawnego działania większości obecnych algorytmów sterowania orbitalnym ruchem względnym.

Główne zagadnienia należące do oryginalnego dorobku autora stanowią: metoda predykcji wyjścia uwzględniająca zmienność parametrów modelu wewnątrz horyzontu predykcji, metoda estymacji przyszłych parametrów modelu, sformułowanie algorytmu sterowania predykcyjnego korzystającego z wymienionych metod oraz symulacje zachowania pętli sterowania wykorzystującej zaproponowany algorytm.

A handwritten signature in black ink, reading "Felisiak". The signature is written in a cursive, flowing style with a large initial 'F'.